

2000 W O R L D A I R P L A N E

作物栽培学

张国平 周伟军 主编

浙江大學出版社

前 言

作物栽培学是一门密切联系生产实际、为农业生产服务的应用科学,也是农学类许多专业的一门重要专业课程。早在 20 世纪 60 年代初,编者所在的教研室组织编写了《作物栽培学》一书,由上海科学技术出版社出版。该书介绍的作物种类较多,内容丰富、系统,曾在国内同类学科中产生过很大的反响,普遍受到好评。其后在 90 年代初,根据农业生产与作物栽培学学科的发展以及种植业结构调整的需要,我们在原教材的基础上进行了较大的修订和增补,再度由上海科学技术出版社出版,并作为原浙江农业大学农学类各专业的教材以及其他学校或单位的教学用书,沿用至今。

本次重编《作物栽培学》一书,主要基于以下两方面的考虑:一是自 90 年代以来,种植业结构和生产模式发生了很大的变化;作物栽培的目标已由原来的单纯追求高产转变为优质、高效、环境安全和可持续发展,生产技术上已由长期以来的精耕细作迅速发展为具有较高科技含量的轻型(简)栽培,育苗(秧)技术、施肥灌溉技术、间(套)复种技术、土壤耕作技术和生长发育调控技术等都有明显变化,因此要求在教材和教学内容上体现出来。二是教学体系和课程结构上发生了一定的变化。课程结构几经调整,专业课时数大大减少,这就要求教学上在讲透基本原理的前提下精简内容,突出重点。

因此,在编写本书时,我们在内容与形式上均作了较大的改动。一是作物种类上仅精选了我国各地普遍种植且课堂上必讲的 8 种,以求教材和教学内容的一致性,并与正在构建的多媒体教学软件配套;二是在各作物的“栽培技术”一节中,新增了“研究进展”一栏,阐述特定作物栽培技术的发展方向,以拓宽学生的视野;三是对一些专业性很强的术语注释了相应的英文名字,以便读者查阅外文资料,并在各章附有复习思考题,以方便读者自学。

本书共九章,由张国平教授和周伟军教授担任主编。各章撰写人员分工如下:第一章绪论与第三章小麦,张国平教授(博士);第二章水稻,王人民副教授(博士)和程方民副教授(博士);第四章玉米,陈进红副教授(博士);第五章棉花,邬飞波副教授;第六章油菜,周伟军教授(博士);第七章大豆,汪自强副教授(博士);第八章甘薯,陆国权副教授;第九章马铃薯,黄冲平副教授。

本书在编写过程中,引用了许多同行的研究成果和资料,由于篇幅所限,恕不一一列出,在此谨表谢意。

编者

2001 年 7 月

11915/14

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 作物栽培学的性质、任务和学习方法	(1)
一、作物栽培学的性质和任务	(1)
二、作物栽培学的学习方法	(1)
第二节 作物的概念和分类	(2)
一、农作物的概念	(2)
二、农作物的分类	(2)
第三节 作物产量和生产潜力	(5)
一、作物产量	(5)
二、作物产量构成因子及相互关系	(6)
三、作物增产潜力及提高作物产量的途径	(7)
第四节 作物栽培科学的成就与研究进展	(7)
一、世界作物生产的发展概况	(7)
二、我国作物栽培科学的成就和研究进展	(9)
三、作物栽培科学的发展特点与趋势	(12)
第二章 水稻	(14)
第一节 概述	(14)
一、水稻生产在国民经济中的意义	(14)
二、水稻生产概况	(14)
三、中国稻作的分区	(15)
四、浙江省稻作的分区	(17)
第二节 水稻栽培的生物学基础	(17)
一、栽培稻种的起源	(17)
二、我国栽培稻种的演变和类型	(18)
三、水稻的一生及其发育特性	(20)
四、水稻形态和生物学特性	(26)
第三节 水稻栽培技术	(41)
一、育秧技术与秧田期管理	(41)
二、水稻的需肥特性与施肥原则	(48)
三、水稻的需水特性与灌溉原则	(54)
四、水稻本田期栽培管理技术	(56)
五、稻作栽培科学的研究现状与进展	(62)
第三章 小麦	(67)
第一节 概述	(67)
一、小麦生产的重要性	(67)

二、小麦生产概况和发展趋势·····	(67)
三、中国和浙江省小麦生产的分区·····	(68)
第二节 小麦栽培的生物学基础·····	(69)
一、小麦的起源与分类·····	(69)
二、小麦发育特性及其在生产上的应用·····	(71)
三、小麦器官发育与产量形成·····	(73)
第三节 小麦栽培技术·····	(83)
一、高产群体结构与合理密植·····	(83)
二、播种技术·····	(85)
三、小麦的需肥特性和施肥原则·····	(86)
四、田间管理技术·····	(88)
五、小麦的品质形成特点和优质栽培技术·····	(89)
六、麦作栽培科学研究进展·····	(92)
第四章 玉米·····	(95)
第一节 概述·····	(95)
一、发展玉米生产的重要性·····	(95)
二、玉米生产发展概况·····	(95)
三、玉米的营养及利用·····	(97)
第二节 玉米栽培的生物学基础·····	(98)
一、玉米栽培种的起源与类型·····	(98)
二、玉米的生产发育和产量形成·····	(99)
第三节 玉米栽培技术·····	(106)
一、玉米产量结构特点与合理密植·····	(106)
二、玉米需肥特性和施肥原则·····	(107)
三、玉米播种与育苗·····	(110)
四、玉米田间管理技术·····	(112)
五、收获与贮藏·····	(115)
六、特用玉米栽培技术·····	(115)
第五章 棉花·····	(122)
第一节 概述·····	(122)
一、棉产品的综合利用·····	(122)
二、棉花生产概况·····	(123)
三、中国棉花种植区划·····	(124)
四、浙江省棉花生产概况·····	(125)
第二节 棉花栽培的生物学基础·····	(126)
一、棉花栽培种的起源及其类型·····	(126)
二、棉花的形态与生长发育·····	(128)
三、棉花的蕾铃脱落·····	(134)
四、棉花产量构成与形成过程·····	(136)
第三节 棉花栽培技术·····	(139)

一、播种与直播栽培技术	(139)
二、棉花需肥特性与施肥原则	(141)
三、棉花田间管理技术	(143)
四、棉作科学研究进展	(147)
第六章 油菜	(153)
第一节 概述	(153)
一、油菜生产的意义	(153)
二、油菜生产概况	(154)
第二节 油菜栽培的生物学基础	(155)
一、栽培油菜的起源与类型	(155)
二、油菜阶段发育与器官形成	(157)
三、油菜产量构成与形成过程	(164)
第三节 油菜栽培技术	(165)
一、油菜育苗技术与直播栽培	(165)
二、油菜需肥特性与施肥技术	(168)
三、油菜田间管理技术	(171)
四、油菜优质高产栽培进展	(174)
第七章 大豆	(179)
第一节 概述	(179)
一、大豆生产的意义	(179)
二、大豆生产概况	(180)
第二节 大豆栽培的生物学基础	(181)
一、栽培大豆的起源和类型	(181)
二、大豆生长发育与器官建成	(185)
第三节 大豆栽培技术	(191)
一、大豆产量形成与合理密植	(191)
二、大豆需肥特点与施肥原则	(194)
三、大豆田间管理技术	(195)
四、大豆优质高产栽培研究进展	(200)
第八章 甘薯	(204)
第一节 概述	(204)
一、甘薯生产的特点和意义	(204)
二、甘薯的分布、生产及发展	(205)
第二节 甘薯栽培的生物学基础	(206)
一、栽培甘薯种的起源与品种类型	(206)
二、甘薯的形态特征与生长发育	(207)
三、甘薯产量的构成和形成过程	(212)
四、甘薯的生育阶段及其协调	(215)
第三节 甘薯栽培技术	(216)
一、甘薯育苗和移栽技术	(216)

二、甘薯需肥特性和施肥原则	(222)
三、甘薯田间管理技术	(223)
四、甘薯的收获和安全贮藏	(225)
五、甘薯专用品种的产业化栽培及综合利用	(228)
第九章 马铃薯	(231)
第一节 概述	(231)
一、马铃薯生产的意义	(231)
二、马铃薯的分布与发展	(231)
三、我国不同区域马铃薯栽培的特点	(232)
第二节 马铃薯栽培的生物学基础	(233)
一、马铃薯的起源与分类	(233)
二、马铃薯的形态特征	(234)
三、马铃薯的生长发育及其与环境条件之间的关系	(236)
四、马铃薯的退化及其防止	(239)
第三节 马铃薯栽培技术	(241)
一、播前准备与苗期管理	(241)
二、高产群体建设与调控技术	(244)
三、收获与贮藏	(245)
四、马铃薯实生苗的培育和利用	(247)

第一章 绪 论

作物生产在国民经济发展中具有重要的战略地位,它是人类社会赖以生存和发展的基础。人们的吃、穿、用以及文化生活用品的生产,都与作物生产密切相关。我国人民衣食需求的95%和纺织工业原料的65%左右,都直接或间接来自作物生产;食品工业中的糕点、糖果和酿造业的原料,绝大多数也来自作物生产。作物生产是农业生产中第一性生产,是种植业的主要内容,作物生产的发展对于国民经济各部门的发展以及农业内部各业的调整与发展,都有着举足轻重的影响。

第一节 作物栽培学的性质、任务和学习方法

一、作物栽培学的性质和任务

作物栽培学(crop production, crop husbandry)是一门直接为农业生产服务的应用科学。它的基本任务是围绕农作物优质、高产、高效、安全生产系统,不断揭示农作物生产发育、产量构成(yield component)、品质形成等规律及其与生态环境、人为措施的相互促进和相互制约的关系,探索作物优质、高产、高效的客观规律,制订综合配套栽培技术,以实现最大的经济效益、社会效益和生态效益。

作物栽培学的内容极其丰富,且综合性强,又密切联系生产实际。作物种类多,各种作物及其品种都有其自身的生长发育和产量及品质形成规律,因此,作物栽培学首先必须研究它们的生育规律,在此基础上提出相应栽培技术措施。作物在生长发育的不同阶段,对土、肥、水、光、气等外界条件都有特定的要求,且各种环境因子又是相互关联的,因此,作物栽培学必须研究作物生长发育与环境条件的关系,明确最有利于作物高产和优质的环境因子以及为创造最佳生长环境所需的农艺调控技术。作物生产的对象是群体,而群体是由个体所组成,在作物生长发育过程中,群体与个体间存在着一定的矛盾,主要表现在争夺外界环境条件的矛盾,因此,作物栽培学必须分析这些矛盾,创造一个群体和个体协调发展的农田生态系统,改善群体质量(population quality),以充分发挥品种的遗传潜力。作物生产不仅要考虑当季当年的高产高效,而且要考虑生产的持续发展、资源的有效利用以及环境的洁净安全,因此,作物栽培学还必须研究当季当年的生产对土壤肥力、资源利用和环境质量的影响,建立一种可持续发展的种植和栽培管理体系。

二、作物栽培学的学习方法

要学好作物栽培学,必须注意以下几点:

一是要了解国内外市场对作物产量和品质的要求,树立以市场为导向的生产观念。

二是要确立正确的学习方法。作物栽培学研究的对象是活的有机体,作物本身的生长发育规律、外界环境条件的变化规律、以及作物生长发育和环境条件关系的规律都是客观存在的。因此,学习作物栽培学要理解这些规律的基本原理,并善于分析和归纳。在推广异地的品种和栽培技术措施时,必须经过试验和示范,因地制宜、因时制宜,灵活应用。

三是要有理论联系实际、实事求是的科学作风。作物栽培学是一门实践性很强的科学,它直接用于指导实践,为生产服务。因此,学习作物栽培学,一方面要掌握理论知识;另一方面要紧密结合生产实践,从而不断提高发现问题、分析问题和解决问题的能力。

四是要学好相关的基础学科,奠定学好作物栽培学的理论基础。作物栽培学是一门综合性很强的应用科学,它以众多的学科为基础。如研究作物的形态结构,必须具有植物学、植物解剖学的知识;研究作物的生长发育规律,必须具有植物生理学、遗传学的知识;研究作物对环境条件的要求,必须具有土壤学、农业气象学、农业化学、农业生态学以及植物生理学的知识;防治病虫害,必须具有农业微生物学、农业昆虫学、植物病理学和农药学的知识;在试验设计和分析数据时,必须具有生物统计学、计算机应用技术等知识;为了提高生产效益,还必须具有经济管理、农产品加工学和市场营销学等知识。

第二节 作物的概念和分类

一、农作物的概念

作物的概念有狭义和广义之分:从广义上说,凡是有利用价值并由人工栽培的植物都称作物,如粮食作物、油料作物、蔬菜作物、果树、桑和药用作物等;从狭义上讲,所谓作物是指粮、棉、油、麻、糖、烟等大田作物。地球上记载的植物约有 30 万余种,被人类利用的约有 2500 种,其中约有 1500 种为人工栽培植物。世界栽培植物中最主要的农作物有 90 多种,我国目前种植的主要农作物有五六十种。

我国是一个具有悠久植物栽培历史的国家,是许多重要农作物如稻、粟、大豆等的原产地。小麦、大麦、黍、大麻等在我国也有数千年栽培历史,其它如甘薯、玉米、马铃薯、蚕豆等作物传入我国的时期,虽然有先有后,但在原产地都有相当长的栽培历史。随着农业生产的发展与人类对植物资源的开发利用,一些野生植物会逐步加入作物的行列。

二、农作物的分类

农作物的种类很多,为了便于比较、研究和利用,人们常根据作物的某些特征、特性进行分类,其中按用途和植物学系统的分类,是目前最常用的分类方法。依此分类,可将农作物分为三大部门、八大类别(表 1-1)。

(一)粮食作物(food crops)

1. 谷类作物(cereal crops) 一般属禾本科植物。常见的有稻、小麦、大麦(青稞、元麦)、燕麦(包括莜麦)、黑麦、玉米、高粱、粟、黍(包括稷)、龙爪稷、蜡烛稗、薏苡等。蓼科的荞麦,因其主要用途与上述作物相同也列在此类中。

2. 豆科作物(legume crops) 属豆科植物。常见的有大豆、蚕豆、豌豆、绿豆、饭豆、小豆、豇豆、菜豆、兵豆(小扁豆)、扁豆、鹰嘴豆等。

3. 薯类作物(tuber and root crops) 又称根茎类作物,植物学上的科属不一。常见的有甘

薯、马铃薯、豆薯、木薯、山药(薯蓣)、蕪藕、芋、魔芋、菊芋等。

(二)经济作物(cash crops)

1. 纤维作物(fiber crops) 常见的有棉花、红麻、黄麻、大麻、苘麻、苧麻、亚麻、剑麻、蕉麻、菠萝麻、罗布麻等。

2. 油料作物(oil crops) 常见的有油菜、花生、芝麻、蓖麻、向日葵、红花、油莎草等。

3. 糖料作物(sugar crops) 常见的有甘蔗、甜菜和甜菊等。

4. 其它作物(other crops) 包括烟草、茶叶、薄荷、咖啡、啤酒花、席草、浙贝母、白术、玄参、芍药、麦冬、延胡索、杭白菊、郁金、厚朴、山茱萸、西红花等。

(三)绿肥及饲料作物(green manure and foliage crops)

常见的绿肥及饲料作物有黄花苜蓿、紫云英、苕子、草木樨、田菁、桂麻、紫穗槐、绿萍、水花生、水浮莲、黑麦草、籽粒苋等。

表 1-1 常见作物中文名、学名、英文名及主要用途

中文名	学名	英文名	主要用途
禾本科 Graminaeae			
稻	<i>Oryza sativa</i> L.	Rice	子实食用
小麦	<i>Triticum aestivum</i> L.	Wheat	子实食用
大麦	<i>Hordeum sativum</i> L.	Barley	子实食用、饲用、啤用
黑麦	<i>Secale cereale</i> L.	Rye	子实食用
燕麦	<i>Avana sativa</i> L.	Oat	子实食用、饲用
玉米	<i>Zea mays</i> L.	Maize(corn)	子实食用、饲用
高粱	<i>Sorghum vulgare</i> Pres.	Sorghum	子实食用、饲用
黍(稷)	<i>Panicum miliaceum</i> L.	Proso millet	子实食用
粟	<i>Setaria italica</i> (L.) Beauv.	Foxtail millet	子实食用
蕪苣	<i>Coix lacryma-jabi</i> L.	Job's-tears	子实食用、药用
甘蔗	<i>Saccharum officinarum</i> L.	Sugar cane	茎糖用
蓼科 Polygonaceae			
荞麦	<i>Fagopyrum esculentum</i> Moench	Buckwheat	子实食用
豆科 Leguminsae			
大豆	<i>Glycine max</i> (L.) Merr	Soybean	种子油用、食用
花生	<i>Arachis hypogaea</i> L.	Peanut	种子油用、食用
蚕豆	<i>Vicia faba</i> L.	Broad bean	子实食用
豇豆	<i>Pisum sativum</i> L.	Garden pea	子实食用
豌豆	<i>Vigna sinensis</i> (L.) Savi.	Common cowpea	子实食用
饭豆	<i>Phaseolus calcaratus</i> Roxb	Rice bean	子实食用
绿豆	<i>Phaseolus radiatus</i> L.	Mung bean, green gram	子实食用
小豆	<i>Phaseolus angularis</i> Wight	Adzuki bean	子实食用
菜豆	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Common bean(kidney bean)	子实食用
扁豆	<i>Dolichos lablab</i> L.	Hyacinth bean	子实食用
紫云英	<i>Astragalus sinicus</i> L.	Milk vetch	全株作绿肥、饲料
苜蓿	<i>Medicago denticulata</i> Willd	Alfalfa	全株作绿肥、饲料
苕子	<i>Vicia Sativa</i> L.	Vetch	全株作绿肥、饲料
猪屎豆	<i>Crotalaria mucronata</i> Desv	Striped crotalaria	全株作绿肥
豇麻	<i>Crotalaria juncea</i> L.	Sunn crotalaria	全株作绿肥

续表 1

中文名	学名	英文名	主要用途
胡枝子	<i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.	Shrub lespedeza	茎叶作绿肥
紫穗槐	<i>Amopha jruticosa</i> L.	Bastard indigo, Falsemdigo	茎叶作绿肥
田菁	<i>Sesbania cannabira</i> (Retz) Pres	Common sesbania	全株作绿肥
草木樨	<i>Melilotus</i> Mill.	Sweet clover	茎叶作绿肥
豆薯	<i>Pachyrhizus erosus</i> (L.) Urban	Wayaka yambean, yambean	块根食用
旋花科 Convolvulaceae			
甘薯	<i>Ipomoea batatas</i> Lam.	Sweet potatoes	块根食用
薯蓣科 Dioscoreaceae			
山药	<i>Dioscorea batatas</i> Dene	Yam	块根食用
天南星科 Araceae			
芋	<i>Coloasia esculenta</i> Shott	Taro	球茎食用
水浮莲	<i>Pistia stratiotes</i> L.	Water lettuce	全株饲用
美人蕉科 Cannaceae			
蕉藕	<i>Canna edulis</i> Ker	Edible canna	块茎食用、饲用
茄科 Solanaceae			
马铃薯	<i>Solanum tuberosum</i> L.	Potato	块茎食用
烟草	<i>Nicotiana tabacum</i> L.	Tabacco	叶制烟
锦葵科 Malvaceae			
棉花	<i>Gossypium spp.</i>	Cotton	种子纤维纺织、
红麻	<i>Hibiscus cannabinus</i> L.	Kenaf	韧皮, 纤维用
苘麻	<i>Abution avicennae</i> Gaertner	China jute	韧皮, 纤维用
椴树科 Tiliaceae			
黄麻	<i>Corchorus spp</i> L.	Jute	韧皮, 纤维用
荨麻科 Urticaceae			
苧麻	<i>Boehmeria nivea</i> (L.) Gaud.	Ramie	韧皮, 纤维用
大麻科 Cannabinaceae			
大麻	<i>Cannabis sativa</i> L.	Hemp	韧皮, 纤维用
亚麻科 Linaceae			
亚麻	<i>Linum usitatissimum</i> L.	Flax	韧皮, 纤维用
龙舌兰科 Agavaceae			
剑麻	<i>Agave sisalana</i> Perrine	Sisal hemp	叶, 纤维用
芭蕉科 Musaceae			
蕉麻	<i>Musa textilis</i> Nees	Manila hemp, abaca	叶, 纤维用
十字花科 Cruciferae			
油菜	<i>Brassica spp.</i>	Rape	种子油用
胡麻科 pedaliaceae			
芝麻	<i>Sesamum indicum</i> L.	Sesame	种子油用
菊科 Compositae			
向日葵	<i>Helianthus annuus</i> L.	Sunflower	种子油用
菊芋	<i>Helianthus tuberosus</i> L.	Jerusalem artichoke	块茎食用
大戟科 Euphorbiaceae			
蓖麻	<i>Ricinus communis</i> L.	Castor—oil plant	种子油用
木薯	<i>Manihot utilissima</i> Pohl	cassava	块根食用
藜科 Chenopdiceae			

续表 1

中文名	学名	英文名	主要用途
甜菜	<i>Beta vulgaris</i> L.	Sugar beet	块根糖料
茶科 Theaceae			
茶	<i>Camellia sinensis</i> Kuntze	Tea	叶, 制茶
雨久花科 Pontederiaceae			
水葫芦	<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart) Solms	Common waterhyacinth	全株饲用
苋科 Amaranthaceae			
水花生	<i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart) Griseb.	Alligator alternanthera	全株饲用
槐叶萍科 Salviniaceae			
绿萍	<i>Azolla imbricata</i> L.	duckweed	全株绿肥

第三节 作物产量和生产潜力

一、作物产量

作物产量有生物产量(biomass yield)和经济产量(economic yield)两个概念。生物产量是指作物在整个生育期间生产和积累的有机物质总量,即整个植株(一般不包括根系)的干物质总量。经济产量是指栽培目的所需要的产品收获量,即一般意义上的产量。由于作物种类和栽培目的不同,被利用作为产品的部分也不相同。如禾谷类、豆类作物的产品是子实,薯类作物是块根、块茎,棉花是种子纤维,黄麻、红麻、大麻、苧麻等为韧皮纤维,甘蔗为茎秆,烟草、茶叶为叶片,绿肥作物为整个植株;当玉米作为粮食作物时,其产品收获物是子实,作为饲料作物时,茎、叶、果穗可作青饲。

作物经济产量是生物产量的一部分,经济产量的形成以生物产量为物质基础。没有高的生物产量,不可能有高的经济产量,但是高的生物产量,是否具有高的经济产量,则取决于生物产量转化为经济产量的效率。这种转化效率可用经济系数(经济产量/生物产量)来衡量。经济系数(economic coefficient)越高,说明有机物转化为收获物的效率越高。现代育种大大提高了作物的经济系数,目前薯类作物为 0.7~0.85,水稻和大小麦在 0.50 左右,玉米为 0.25~0.4,油菜和大豆在 0.3 左右。以上数据说明,不同作物的经济系数差异很大,这与所利用的产品器官及其化学成分有关。一般来说,凡是以营养器官作为收获对象的作物(如薯类),其产品形成过程比较简单,经济系数往往较高;凡是以生殖器官作为收获对象的作物(如禾谷类和豆类),其产品形成过程要经过较为复杂的有机物转运和再合成,经济系数较低。以碳水化合物为主的收获产品,因形成过程能量消耗少,往往经济系数较高;蛋白质和脂肪含量较多的收获产品,形成过程能量消耗多,经济系数较低,因而大豆、油菜等油料作物的经济系数要比稻、麦低。

一般特定作物品种的经济系数相对比较稳定,作物产量主要取决于生物产量,因而提高生物产量是夺取高产的基础。从作物经济产量的形成过程上看,在作物营养生长阶段,光合同化物绝大部分用于营养体的建成,为以后产品器官的发育和形成奠定物质基础;进入生殖生长后,光合同化物主要用于生殖器官或贮藏器官的形成,即形成产量。因此,作物生育后期的光合同化量与经济产量的关系十分密切。保持后期有较大的绿色叶面积和较强的光合能力,是提高作物经济产量和经济系数的关键所在。为了达到高产目标,栽培上要运用综合配套技术措施,

在作物生育前期,促进壮苗早发,建立起大的营养体(源, source),为生产大的生物产量打基础;生育中期要促使营养器官和生殖(贮藏)器官生长的协调生长,形成足够数量的有机物贮存器官(库, sink);生育后期防止植株早衰和贪青,保证有充足的有机物合成和顺利向产品器官运输(流, stream)。也就是说,要获得作物高产,不仅要求同化物多,运转能力强,同时还要求有与之相适应的贮存产品的器官,即要求库大源足流畅。

二、作物产量构成因子及相互关系

作物产量由单株产量和单位面积上的株数两大因素构成,且具体因素因作物种类而异(表1-2)。作物栽培学的一个基本内容便是研究这些因素的形成过程和相互之间的关系,以及影响这些因素的条件,并制订相应的农艺措施以满足这些因素协调发展的需要。不同品种或同一品种不同生产条件下的产量相同,结构可能不同。以小麦为例,我国北方冬麦区高产田块的特点是穗数多,南方麦区高产田块的穗数较少,但每穗粒数较多。因此,不同地区及不同栽培条件下,有各自不同的高产构成因素组合。

表 1-2 各类作物单位面积产量构成因素

作物名称	产量构成因素
禾谷类	穗数、每穗实粒数、粒重
豆类	株数、每株有效分枝数、每分枝荚数、每荚实粒数、粒重
薯类	株数、每株薯块数、单薯重
棉花	株数、每株有效铃数、每铃子棉重、衣分
油菜	株数、每株有效分枝数、每分枝荚数、每荚粒数、粒重
甘蔗	有效茎数、单茎重
烟草	株数、每株叶数、单叶重
绿肥	株数、单株重

作物栽培的对象是群体,在一定的栽培条件下,群体的产量构成因素之间往往存在着一定的矛盾关系。以禾谷类作物为例,当单位面积上穗数增加时,每穗粒数就有减少的趋势,千粒重也会有所降低。这是因为作物的群体是由各个体组成的,当单位面积上密度增加时,各个体所占的空间和营养面积就减少,这样个体的生物产量就相应削弱,因而表现在每穗粒数等构成经济产量的一些器官也减少。密度增加,个体变小是普遍现象。但个体变小不等于最后的产量就低,因为作物栽培的最终目的是单位面积上的产量,即要求单位面积上的穗数 $\times$ 粒数 $\times$ 粒重达到最大值。由此可见,如单位面积上的穗数增加能弥补并超过每穗粒数及粒重减少的损失时,则表现为增产。当三因素中任一因素增加不能弥补另两个因素减少的损失时,就表现为减产。那么,个体可以允许的削弱和过分削弱之间的界限在哪里呢?根据许多以子实为收获物的作物进行分析,密度增高时,单株子实重并不光是随植株重量降低成比例下降,而是比株重下降更为剧烈,结果导致经济系数下降,也就是说,在密度提高后植株受到削弱时,生殖器官受到的削弱更为严重。因此,在密度过高时,虽然生物产量并不比密度适宜时少,但经济产量却由于经济系数的下降而比密度适宜时为低。所以,对于以子实为主要收获物的稻、麦、玉米、大豆、油菜等作物来说,产量最高时的密度范围,出现在提高密度增加干物质积累的有利作用,刚好与经济系数下降的不利作用相等的时候,这个密度总是比生物产量最高时的密度为低。

密度超过一定范围后,造成经济系数下降的根本原因,是叶面积系数过大,严重影响干物质的生产和积累。任何作物达到高产,在具体的栽培条件下都有一个最适叶面积范围。在这个

范围以下,增加密度,可增加单位面积上的绿色面积,有效地提高光能利用率,从而增加干物质生产和积累。当密度超过了一定范围,叶面积继续增大时,田间遮光严重,光合产物不再增加,而呼吸消耗则随叶面积的增加而增大,因而干物质积累反而减少。确定作物各生育阶段的最适叶面积指标,是协调产量构成因素间的矛盾,增加干物质积累,提高经济系数的重要条件,也是作物高产栽培需要研究和解决的主要问题。

三、作物增产潜力及提高作物产量的途径

作物所积累的有机物质,是植物利用太阳光能,将吸收的二氧化碳和水通过光合作用合成的。通过各种措施和途径,最大限度地利用太阳光能,不断提高光合作用效率,以形成尽可能多的有机物质,是挖掘作物生产潜力的重要手段。

据研究,在自然条件下作物可能达到的太阳光能最高利用率,为可见光的12%左右,但目前我国耕地全年太阳光能平均利用率仅为0.4%,只有可能达到的光能最高率的1/30。即使是全年产量达15 t/hm²的田块,其太阳光能利用率也仅达4%左右。可见,现有农田提高单位面积产量,还有巨大潜力。

据报道,若在气温>5℃的时期内,太阳光能利用率全国平均达到2%,则全国粮食平均产量将在7.5 t/hm²以上;若能把气温>5℃的时期内太阳光能利用率提高到5.1%,则全国粮食平均产量将达到27.8 t/hm²。

以上光合潜力的估算值,必须在以下四个条件都具备时才能实现:一是具有充分利用光能的高光效作物品种;二是空气中的二氧化碳浓度正常;三是环境因素均处于最适合状态;四是具备最宜于接受和分配阳光的群体。因此,若想通过提高光能利用率来提高单产,主要应从改进作物品种和改善环境条件等如下几方面着手:

第一,培育高光效的作物品种,即要求作物具有高光合能力,低呼吸消耗,光合机能保持较长时间,叶面积适当,株型、长相都有利于田间群体最大限度地利用光能的特点。

第二,充分利用生长季节,合理安排茬口。采用间作套种、育苗移栽等措施,提高复种指数,在温度允许范围内,使一年中尽可能多的时间在耕地上有作物生长,特别是在温度高、光照强的时期,使单位面积上有较高的绿色面积,以提高作物群体的光能利用率。

第三,采用合理栽培措施。如合理密植,保持田间有最适宜的作物群体,最大限度地利用光能,加强田间管理,正确运用肥、水,充分满足作物各生育阶段对外界环境条件的要求。

第四,提高作物光合效率。可通过补施二氧化碳肥料、人工补充光照和抑制光呼吸等手段达到这一目标。

第四节 作物栽培科学的成就与研究进展

一、世界作物生产的发展概况

作物栽培科学是密切联系生产实际、把科学技术转化为生产力的最直接的学科,作物栽培的科学和技术是综合反映一个国家、一个地区农业科技水平和生产水平的标志之一。随着自然科学的研究发展、新技术的发明应用、生产条件的改善,作物栽培科学不断被赋予新的内容并把作物生产提高到一个新的水平。衡量作物栽培科学的标志最终显示在产量的增长、品质的改善和效益的提高上。从全世界范围看,当代作物栽培科学有以下特点和成就。

(一)作物生产发展迅速

1. 总产大幅增长 据FAO报道,1998年谷类作物总产量达20.54亿吨,比1970年增长64.48%,其中稻谷增长81.03%,小麦增长79.03%,玉米增长105.58%;棉花(籽棉)总产量为5179万吨,比1970年增长48.57%;油菜籽总产量从1970年的661.7万吨增加到1998年的3356.8万吨,增长407.30%;大豆总产量1998年达1.58亿吨,是1970年的3.53倍;其它如糖料作物、豆类和薯类也有不同程度的增长。

2. 单产显著提高 近30年来世界农作物总产的大幅度增长主要归因于单位面积产量的显著提高。据统计,谷类作物种植面积1998年与1970年相比,仅增加2.1%,其中玉米种植面积略有下降。从单产上看,1998年和1970年比较,谷类作物产量从 $1.84\text{t}/\text{hm}^2$ 提高到 $2.97\text{t}/\text{hm}^2$,增加61.16%;其中稻谷增加57.24%,小麦增加66.08%,玉米增加72.9%。棉花从 $1.07\text{t}/\text{hm}^2$ 提高到 $1.56\text{t}/\text{hm}^2$,增加46.02%;油菜籽产量从 $0.78\text{t}/\text{hm}^2$ 提高到 $1.34\text{t}/\text{hm}^2$,增加72.18%;大豆产量从 $1.39\text{t}/\text{hm}^2$ 提高到 $2.62\text{t}/\text{hm}^2$,增加88.89%。

3. 生产条件明显改善 农业技术现代化对作物产量增长起有重要作用。80年代农业机械作业进一步发展,发达国家农田耕、种、管、收已全部实现机械化、自动化,农业劳动生产率显著提高;发展中国家农机作业也有所增加。化肥施用量成倍增长,且氮、磷、钾比例进一步调整,逐渐趋于合理。农田灌溉面积进一步扩大,据FAO统计资料,1997年全球灌溉面积为2.68亿 hm^2 ,比1970年增加了57.33%。同时,新的节水灌溉技术不断得到开发和应用。

(二)生产技术得到改进和完善

1. 良种良法配合 作物新品种培育着重于高产、优质和抗逆性。80年代作物育种在三个方面获得了突破性进展,即矮秆抗倒、高产优质、抗逆抗病。水稻、玉米、棉花和油菜等作物都培育出了一批杂种优势强、适应性广的高产品种。良种推广速度加快,发达国家已完全实现良种化。在良种推广应用前,通过对作物生长发育、产量形成、生产潜力、稳产系数、抗性指标以及适应范围等生理学、生态学的研究,明确并提出充分发挥良种高产、优质潜力的栽培技术措施,实现良种良法配套。实践证明,在最佳农艺配合之下,杂种优势在作物遗传增益中大约起20%~40%的作用。

2. 肥料管理 据FAO估计,80年代作物增产诸因素中,增施化肥和合理施肥大约占30%~40%,提高肥料利用率是科学研究的重点,物化技术在作物增产中起重要作用。一是研究作物需肥规律和配方施肥技术,充分发挥肥效;二是改进施肥方法,减少养分挥发和流失;三是增施化肥增效剂;四是研制新型化肥品种,如复合肥料、缓效肥料、包衣肥料等,可以显著地提高化肥利用率。据美国农业部报道,1970—1989年全国玉米产量由 $4.52\text{t}/\text{hm}^2$ 增至 $7.28\text{t}/\text{hm}^2$,每千克氮产出玉米从38.6 kg增至51.0 kg,每千克磷产出玉米从63.3 kg增至129.9 kg,每千克钾产出玉米从17.2 kg增至27.4 kg,化肥的产出效益稳定增长。

3. 科学灌溉 80年代世界农田灌溉面积约2.33亿公顷,占农用地面积的15%左右,但提供的农产品占农业总产量的一半以上。在当今水资源紧缺的情况下,节水栽培是世界研究灌溉技术的重点。节水栽培是一项综合配套技术,它是以节水灌溉为核心,配合采用抗旱品种、秸秆或薄膜覆盖、少耕免耕、使用土壤保水剂等措施。各国在改进渠道灌溉的同时,发展管道灌溉。发达国家采用喷灌、滴灌、雾灌等新技术,一般比沟灌或漫灌节约用水30%~50%,节约农地7%~10%。

4. 设施栽培 设施栽培包括温室栽培、无土栽培和工厂化栽培等,它是人工控制自然条件,创造作物良好生长环境的一种集约化程度很高的栽培方式,显著增加光热资源的利用,并

合理利用季节,提高农作物产量。80年代设施栽培的重大发展是塑料薄膜的广泛应用,从花卉、蔬菜等精细作物发展到粮食作物,增温保墒,增产增收,在高寒冷凉地区大田作物一般增产30%~50%,高的在一倍以上。在农业发达国家温室栽培和工厂化生产栽培发展到较高的水平,它不受季节、气候和土壤的限制,光照、水分、养分、二氧化碳等环境条件均自动化控制,田间管理实现机械作业,实行收获、加工、贮藏、运输等一系列流程,特别是结合采用组织培养生物工程技术,实现快速、高产、优质、节约的目标。

5. 农作物模型模拟技术 利用计算机对作物生长发育和产量形成过程模拟是一项新兴技术。60年代起科学家们开始建立农作物生长动力学模型,模拟作物光合作用、呼吸作用、物质运输等过程,解释作物生长与环境的数量关系;之后开发了著名的作物生长模拟程序(simulator),可以模拟作物生长、农田小气候、光合进程、呼吸消耗、水分平衡等。80年代从理论研究逐步进入应用研究。美国研究建立的棉花生长发育和产量形成动态模型(GOSSYM),已在棉花种植带大范围推广应用;建立的 CERES 小麦、玉米生长和产量模型,用来预测玉米带的产量以及气候变化对作物产量的影响,国际农业组织已向世界各国推荐应用。现今国外已有十几种作物建立了生长发育模拟模型或作物高产专家咨询决策系统。

6. 农业机械作业 鉴于农业生产的地域性和耕作栽培技术的不同,世界各地农田采用免耕、少耕、深松、深耕等多种耕作方式。农业机械作业程度在不同地域有很大的差异。发达国家农田作业全部过程实现机械化,农业机械日益向大功率、高速、宽幅、联合作业与自动化方向发展。例如130马力轮式拖拉机带动10铧犁,耕地前进速度8km/h,每天可耕翻土地16hm²,整地播种机具幅宽10~20m,并广泛采用悬挂装置和复式作业。联合收割机采用液压操纵、自动挂接、电子监视等技术。而大多数发展中国家农业机械化水平尚较低,基本上是劳、畜、机作业兼而有之,因地制宜,各有侧重。

二、我国作物栽培科学的成就和研究进展

(一)种植制度改革

作物间套复种是合理利用自然资源和提高单位土地生产力的重要途径,也是作物栽培科学的主要研究内容。我国南方稻区50年代进行单改双、间改套、粳改梗,60年代大力推广双季稻,70年代以后部分地区在双季稻改制的基础上,发展粮食和经济作物的两熟制和复种形式的三熟制,在江淮地区发展小麦-水稻、小麦-棉花或油菜-水稻两熟制,在黄淮海平原逐步从一年一熟发展到两年三熟及至小麦、玉米为主的间套复种一年两熟。种植制度的改革显著增加了复种指数,1952年全国耕地复种指数为131%,1979年增加到151%,1990年发展到155.6%。全国约有1/3的耕地,2/3的播种面积采用间套复种方式,对扩大农作物种植面积和提高产量起了重要作用。粗略估算,我国粮食产量的1/2、棉花和油料产量的1/3都是依靠间套复种获得的。种植制度改革取得以下进展:(1)在查明全国不同生态类型区光、热、水资源分布和种植方式的基础上,研究制订了全国农作物种植制度区划,为调整作物布局、改革种植制度和分布分类指导提供依据。(2)研究不同种植类型农田生态系统的物质能量循环。查明物质循环的特点以及氮素、碳素、矿质元素循环过程。(3)研究多熟种植与培肥地力的关系。查明间套复种对土壤理化性状和养分含量的影响,通过各种土壤培肥措施,如增施化肥、多施有机肥、秸秆还田、建立合理作物轮作和土壤耕作制,实现用地与养地结合。(4)研究复合群体的竞争和互助,包括种内和种间竞争和互助。查明作物复合群体在空间、时间和地下部对光照、水分、养分的竞争以及对植物代谢产物的影响,通过各种种植方式、品种搭配、行向、行比以及各种调控措施,

提高光能利用率和对养分、水分的吸收利用,加快物质能量的转化进程。(5)针对不同生态区多熟种植方式,如南方水田双季稻、黄淮海平原小麦玉米两熟间套复种、西南丘陵旱地三熟套种和北方一熟种植等,研究多熟高产综合配套栽培技术以及大、中、小结合一型多用的农业机械。我国农作物间套复种植制度及其研究成果,在世界农业科学领域居领先水平。

(二)育秧(苗)移栽技术的发展

作物育苗移栽在我国有悠久的历史。它可以集中育苗,适时移栽,合理安排作物茬口,调节劳力,提早播种,充分利用农时季节,是获取农作物高产的一项重要技术。育秧(苗)移栽是作物栽培重点研究内容之一,在以下方面取得了重要成果:(1)水稻培育壮秧机理及防止烂秧的措施。(2)农作物工厂化育秧(苗)生态因子的调控。(3)玉米、棉花营养钵育苗形态生理指标及移栽技术;(4)育苗移栽机械的研究。我国大田作物育苗移栽技术及其研究在国际上具有较高的水平。

(三)施肥技术的改进

作物科学施肥是保证作物不同生育阶段对营养需求、培肥地力、提高产量和改进品质的重要措施。80年代增施化肥和改进施肥方法在农作物增产诸因素中起20%~40%的作用。主要研究成果有:(1)主要农作物的需肥规律,作物对营养吸收的动态和数量。(2)施肥与环境条件的关系。包括肥料性质、土壤肥力、水分状况以及气候因素等。(3)施肥时期、次数和方法。确定农作物施肥的基本原则:无机与有机结合;基肥为主,追肥为辅;化肥为主,有机肥为辅;氮肥为主,磷钾肥为辅。根据作物、地力、品种和密度灵活掌握。(4)施肥诊断技术。包括株形诊断、营养诊断和根系诊断等;(5)配方施肥法。80年代开展农作物优化配方施肥研究,即根据作物需肥规律、土壤供肥能力和肥料成分,设计获得预期产量所采用的施肥数量和氮、磷、钾适宜比例。农作物配方施肥有地区分级配方法、预期产量配方法和田间试验配方法三种,取得了明显的增产增益效果。

(四)节水灌溉技术

作物节水灌溉技术是在研究作物生物学特性、需水规律和需水量的基础上,充分利用自然降水和可用水资源,最大限度地提高水分利用率,获取农作物高产。它包括灌溉节水技术、节水制度、区域水资源平衡以及上述节水措施的综合配套应用。我国稻田面积约3000万 hm^2 ,长期以来发展形成了四种节水灌溉类型:(1)水层湿润与晒田结合灌溉型。(2)长期水层与晒田结合灌溉型。(3)长期水层灌溉型。(4)干干湿湿灌溉型。在有灌溉条件的旱田作物,采用畦灌和沟灌方式,能够不同程度的节约用水。在经济作物,采用喷灌、滴灌和雾灌技术,可使作物增产5%~20%,节约用水50%以上。

在节水技术方面所做的研究主要有:(1)缩小灌溉湿润层深度。根据作物根系集中分布区把计划层深度从80~100cm缩小到50~60cm。(2)降低适宜土壤水分指标。对4种主要作物研究,确定适宜下限降低25%~30%。(3)利用深层土壤含水,用以补偿浅土层水分不足。(4)根据作物需水规律和降水特点进行补充灌溉。综合考虑上述指标,制订出农作物高产节水的规范化灌溉实施方案。

(五)旱地农作技术

我国无灌溉条件的旱作面积约占耕地的一半,年降雨量仅250~500mm。蓄住天上水,保住土中墒,最大限度地蓄水保墒和提高水分利用率,是旱作农业增产的关键。围绕旱作栽培的蓄水和用水过程,采用工程措施与生物措施相结合,研究形成了以纳雨蓄水为主的耕作技术。达到以土蓄水、增肥保水、水肥保苗、壮苗根深、以根调水、开发利用深层水、提高自然降雨利用

率以实现旱作稳产高产的目的。主要旱作农业措施有修筑梯田,深层耙压,节水播种,合理轮作,应用化学抗旱剂等。农业科技人员在农民长期实践的基础上,研究总结出丰富的旱作经验,如砂田、淹田、露水聚肥改土耕作法,以及耕耙盖耱、整地保墒技术和旱作综合栽培技术。

(六)农作物覆膜栽培

我国于70年代引进农膜覆盖栽培技术,首先在园艺作物上应用,使果菜产量倍增,并为冷凉地区和大城市缓解了瓜菜周年供应矛盾。80年代覆膜栽培扩大到经济作物和粮食作物,有明显的增温保墒、防虫灭草以及充分利用自然资源、增产增收的效果。其发展趋势是从经济作物扩展到大田作物,从高寒丘陵发展到沿海平原,从北方向南方推进的三大势头。特别是在无霜期较短的西北和南方丘陵地区,农作物覆膜栽培增产在一倍以上。研究内容主要有:(1)覆膜栽培的生态效应。包括热效应,覆膜土壤比露地一般增温 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$;水效应,覆膜栽培有良好的保墒、提墒以及稳定土壤水分的效果;二氧化碳效应,覆膜地比露地表面二氧化碳含量高一倍以上;养分效应,覆膜栽培促进微生物活动,加速矿质营养转化为速效可给态。(2)覆膜栽培对作物生长发育和产量的影响。(3)不同海拔高度覆膜栽培的适应范围。(4)铺膜机械的研制。

(七)农作物化控技术

长期以来,人类根据取食植物部位的不同,采取人工措施促进或控制农作物生长发育,如抑制水稻分蘖、玉米去雄、大豆摘心、棉花整枝、烟草打尖等,以获取较高的经济产量(根、茎、叶、果、种子等)。80年代以来,农作物化控技术获得较快发展,它是在农作物生育过程中,施用植物生物调节激素类物质,调节植物生长发育,促进细胞新陈代谢,协调器官生长平衡,从而获取农作物高产量和高效益的目的。我国农作物应用的激素类调节剂主要有多效唑、烯效唑、矮壮素、缩节胺、增产灵等。农作物化控栽培有三个特点:一是措施的可调控性,可根据施用时间和剂量实现促进或控制的目的。二是技术的综合性。三是使农业更接近目标设计可控程序的工程。通过化控栽培弥补传统栽培方法的不足,塑造植物的理想个体造型和群体发育过程。例如高秆变矮秆,晚熟变早熟,促进花芽分化,疏花落果等,从而突破速生、密植、多熟的极限。农作物化控栽培重点研究化控对植物器官的影响、生理过程的变化、促进和控制的机理以及生长调节剂对作物专属性的筛选,并将化控调节与作物品种、株行配置、肥水管理等结合起来,纳入农作物高产优质综合栽培技术体系。

(八)农作物规范化栽培

农作物规范化栽培,就是运用系统工程原理和计算机模拟技术,组装配套最佳栽培技术措施,按程序设计实现作物最佳形态生理指标,以获取预期产量和经济效益。农作物规范化栽培是试验、示范、推广完整的技术体系,把新品种、新技术以及科研成果组装在一个栽培系统之中。1990年全国农作物规范化栽培面积约3.3亿公顷,其中水稻、小麦、玉米等粮食作物推广面积均在六七百万公顷,对作物增产起重要作用。它标志着我国作物栽培从以经验指导为主转向以科学指导为主;从侧重单项技术转向运用综合栽培技术;从以定性研究为主转向定性与定量研究相结合,注意宏观控制与微观调节相结合,从而使作物栽培研究发展到一个新阶段。农作物规范化栽培有三种形式:(1)指标化栽培。在总结多年大面积丰产经验的基础上,根据作物生育进程优选出不同产量水平的植株形态和生理指标,采取有效措施,实现各项指标以获取预期产量。(2)规程化栽培。根据预产指标将优选栽培技术组装配套,大面积示范应用。(3)模式化栽培。综合作物生长发育指标和单项技术,运用系统工程和计算机技术,建立农作物生育轨道和高产栽培模型,为指导大面积作物高产咨询服务。